不同小麦品种(系)对麦长管蚜的抗性

李贤庆[1,2]，郭线茹[2]，李克斌[1]，尹　姣[1]，曹雅忠[1,*]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京　100094；
2. 河南农业大学植物保护学院，郑州　450002)

摘要：采用网罩麦长管蚜 *Sitobion miscanthi* (Takahashi)的观测方法，对 15 个不同抗性小麦品种(系)进行苗期不选择性、抗生性测定；选择其中 5 个代表性品种(系)观测了田间扬花期麦长管蚜的产蚜量，测定了小麦旗叶和穗部中单宁与槲皮素的含量以及麦长管蚜羧酸酯酶(CarE)与谷胱甘肽 S-转移酶(GST)的活性。结果表明，代表性品种(系)在苗期对麦长管蚜的产蚜量的影响与扬花期的呈显著正相关($r = 0.956^*$)。穗部槲皮素的含量与不同抗性品种(系)上的产蚜量呈显著负相关($r = -0.941^*$)；单宁含量在不同抗性品种(系)间存在显著差异，其含量变化与产蚜量无显著相关。取食不同抗性品种(系)后麦长管蚜的 CarE 和 GST 酶活力存在显著差异。结论认为小麦不同品种(系)对麦长管蚜产蚜量(生殖力)的抑制作用是其抗蚜的重要特性，尤其是中 4 无芒和冀保一号对麦长管蚜抗生性较强。

关键词：麦长管蚜；小麦品种；抗生性；次生物质；羧酸酯酶；谷胱甘肽 S-转移酶

中图分类号：Q965.8　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)06-0963-06

Resistance of wheat varieties (lines) to *Sitobion miscanthi* (Takahashi) (Aphidoidea: Aphididae)

LI Xian-Qing[1,2], GUO Xian-Ru[2], LI Ke-Bin[1], YIN Jiao[1], CAO Ya-Zhong[1,*] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The behavior of *Sitobion miscanthi* (Takahashi) on 15 different tolerant varieties was observed and the antixenosis and antibiosis of these wheat varieties in seedling were tested by using aphids confinement test. Selected five characteristic varieties, we recorded the fecundity of aphids in field during anthesis, assayed the content of quercetin and tannin in flag leave and ear, and detected the activity of carboxylesterase (CarE) and glutathione S transferase (GST) of the aphids on these varieties. The results indicated the effects of the five selected wheat varieties in seedling and anthesis on the fecundity of aphids were significantly positively correlated ($r = 0.956^*$). The correlation between quercetin in ear of wheat and the fecundity of aphids on different wheat varieties was significantly negative ($r = -0.941^*$). The tannin contents of different wheat varieties were significantly different, but showed no significant correlation with the fecundity of aphids. The contents of carboxylesterase (CarE) and glutathione S-transferase (GST) of aphids feeding on different wheat varieties were significantly different. We concluded that different varieties had strong inhibiting effects on the fecundity of *S. miscanthi*, especially with the effects of Zhong 4 wumang and Jibao No.1 stronger.

Key words: *Sitobion miscanthi*; wheat variety; antibiosis; allelochemicals; carboxylesterase; glutathione S-transferase

在我国危害麦类作物的蚜虫种类中，麦长管蚜 *Sitobion miscanthi* (Takahashi)是小麦产区常发性危害

基金项目：国家科技支撑计划课题(2006BAD08A05)；国家重点基础研究发展计划课题(2006CB102007)

作者简介：李贤庆，男，1980 年 11 月生，硕士研究生，主要从事昆虫生态生理学研究，E-mail：xianqing168@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：yzcao@ippcaas.cn；yazhongcao@sina.com.cn

收稿日期 Received：2006-05-17；接受日期 Accepted：2006-09-21

严重的害虫，而且是各麦区小麦穗期（受害最敏感期）的优势麦蚜种群。利用品种的抗蚜性是控制麦长管蚜危害的重要途径。小麦抗蚜性鉴定研究方法有多种，常用的是根据小麦上的自然蚜量或以其为参数的“蚜量比值”、“蚜情指数”等方法鉴定小麦品种（系）和种质资源抗蚜与否（李素娟等，1998；蔡青年等，2003；屈会选等，2004）。史忠良等（1999）采用小麦千粒重的损失率作为小麦抗蚜的鉴定筛选指标。杜利锋等（1999）曾采取多目标决策分析法，在考虑多种物理性状、次生物质丁布含量和累计蚜量的情况下，认为一粒小麦（*Triticum monococcum*，Tm）为抗蚜性种质资源。但这些抗性鉴定研究中均存在蚜量计量精度难以控制的问题。

抗虫次生物质作为重要的抗蚜因素，已有相关的研究。生物碱、酚类化合物、萜烯类化合物和非蛋白氨基酸等都是植物体内的抗虫次生物质，比较重要的有黄酮类化合物（Hedin and Waage，1986；刘保川等，2003）、丁布（Copaja *et al*.，1999；Raúl *et al*.，2000）、吲哚生物碱（蔡青年等，2004）、单宁和总酚（Hunter and Schultz，1995；陈巨莲等，2002）等。

尽管在小麦体内次生物质与小麦抗蚜的关系等方面开展了相应的研究，但是不同的研究其结果差异较大。另外，抗蚜机制的研究尚不够深入，并缺乏成株期抗性与苗期抗性关系等方面的研究。因此，本研究选择经田间自然蚜量鉴定的不同抗性程度的品种（系），采用网罩试虫的观测方法，从不选择性、抗生性入手，重点研究其抗蚜性质和抗性水平，分析苗期与成株期抗蚜性的关系；并通过测定代表性品种（系）一些重要小麦次生物质含量和其上麦长管蚜有关解毒酶的变化，探索小麦品种对麦长管蚜的抗性机制。期望本研究能为完善小麦抗蚜性鉴定方法、小麦抗蚜育种和麦蚜的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试小麦品种

根据田间自然蚜量鉴定为不同抗性的 15 个小麦品种（系），即中 4 无芒（高抗）、KOK（高抗）、铭贤 169（中抗、高抗）、冀保一号（中抗、高抗）、JP①（中抗、高抗）、Li（中抗）、晋麦 31 号（中抗）、临选 2039（中抗）、冀 5099（中抗）、鲁 955159（中抗）、临选 2035（中抗）、小白冬麦（低抗）、郑州 831（低感）、红芒红（中感）和 885479-2（中感、高感），由中国农业科学院植物保护研究所、山西省农业科学院小麦研究所等单位提供。

1.2 不选择性试验

采用网罩内人工释放有翅成蚜自由选择寄主的方法。供试小麦品种（系）采用盆栽方式，每个品种（系）种 1 盆，重复 3 次（盆）；每盆保留 5 株小麦，15 个品种（系）共 45 盆随机排列。在室内 20～25℃条件下人工培养，待麦苗长至 10 cm 左右（3 叶 1 心阶段），用尼龙网罩住全部试验材料，将室内饲养的麦长管蚜有翅成蚜约 300 头以上移入养虫盒中，并置于网罩内距麦苗 20 cm 上方打开养虫盒盖，让其自由选择寄主麦苗。待有翅成蚜定殖（即初产仔蚜时）开始调查计数不同品种（系）上的有翅成蚜数量。

1.3 寄主抗生性试验

苗期：参考仵均祥等（1999）的试验方法并作改进。每盆品种（系）种植 5 株麦苗，重复 3 盆；每盆小麦罩上直径 10 cm、高 20 cm 的透明塑料桶，其顶部罩上纱网；每株麦苗接无翅成蚜 2 头，每盆内罩 10 头以上。待接成蚜产下第一头仔蚜（若蚜）时，移去其成蚜，保留若蚜（以此为观测的起始虫源）。每天观察记载若蚜生长发育情况，随时移去蚜蜕。自若蚜进入成蚜初产仔蚜后开始每天观察记载各品种（系）上成蚜的产仔蚜数量等，直到成蚜死亡为止；记录后移去仔蚜、蚜蜕或死蚜。

扬花期：根据苗期 15 个试验材料对麦长管蚜抗生性测定结果，选择中 4 无芒、冀保一号、JP①、红芒红和 885479-2 等 5 个不同抗性程度的小麦品种（系）作为田间小麦扬花期试验材料。分别于 5 个观测材料的小区中央挑取无翅成蚜若干，为保障观测蚜量的准确性，采用 2.5 cm × 2.5 cm × 2.5 cm 的塑料纱网盒罩虫观测方法，分别将试虫罩于各观测材料的小麦旗叶（正面）上；每盒内放入无翅成蚜 5～10 头，每个品种材料重复 6 盒。试虫起始虫源的设置及其观察记载方法等同苗期。

1.4 次生物质含量测定

1.4.1 槲皮素含量测定：参考刘保川等（2003）的方法，取上述 5 个不同品种小麦扬花期的旗叶和麦穗，分别在 80℃下干燥箱里干燥 5 h 和 7 h，取出后迅速用研钵研成粉末，称取样品 20 mg，放入具塞试管中，加入 70% 甲醇 3 mL，在 30℃下于振荡器中振荡 24 h，之后在 15 294 × g 条件下离心 10 min，取上清液用微孔滤膜过滤后，－4℃下保存备用。所用仪器为：Agilent 1100 型高效液相色谱仪；层析柱为 Agilent Zorbax Extend-C18（HP 公司产品）反相柱。分析条件为：流动相 A：重蒸甲醇；B：0.4% 磷酸水溶

液。DAD 紫外检测器，检测波长 360 nm。流速 1.0 mL/min 进样量 20 μL。

1.4.2　单宁(酸)含量的测定：取上述 5 个不同品种(系)小麦扬花期的旗叶和穗，在烘箱中于 80℃下烘干，用研钵磨成粉状，置于锥形瓶中，加入 50 mL 50%甲醇，在 60℃下水浴 12 h，趁热抽滤，滤液在 60℃下用旋转蒸发仪蒸干甲醇，剩余的水相用去离子水在 100 mL 容量瓶中定容。吸取 2 mL 上述溶液置于 50 mL 容量瓶中，加钨酸钠-磷钼酸溶液 2 mL，充分摇匀，再加入饱和碳酸钠溶液 10 mL，摇匀，加去离子水至刻度，摇匀，静置 5 min，于 700 nm 波长下用分光光度计测吸光值，以蒸馏水作对照。

1.5　羧酸酯酶(CarE)和谷胱甘肽 S-转移酶(GST)活性测定

1.5.1　麦长管蚜的来源：从田间采集麦长管蚜在室内于感虫品种(郑州 891)小麦苗上饲养一段时间，以此为虫源，在上述 5 个不同抗蚜性品种(系)小麦苗上饲养 5 天，而后每个品种(系)上取 3 龄以上蚜虫 100 头左右，在 -20℃下贮存。

1.5.2　酶液的制备：每种材料加入 1.5 mL 预冷的相应的酶缓冲液，CarE 用 0.04 mol/L、pH 7.0 的 PBS 提取；GST 用 0.1 mol/L、pH 6.5 的 PBS 提取。材料在冰浴中匀浆，匀浆液在 15 294 ×g 下离心 10 min，取上清液作为酶液。

1.5.3　羧酸酯酶活性测定方法：参考 van Asperen(1962)的方法，取 3.6 mL α-乙酸萘酯(α-NA)，0.1 mL 酶液混匀后，置 30℃水浴 15 min 后，加 1 mL DBLS 试剂(1% 固蓝 B 与 5% 十二烷基硫酸钠以 2∶5 混合)，反应 15 min 后，于 600 nm 波长测吸光值。

1.5.4　谷胱甘肽 S-转移酶活性测定方法：按 Habig 和 Jakoby(1981)的方法，并加以改进。取 1.0 mL 0.1 mol/L、pH 6.5 的 PBS，0.7 mL 30 mmol/L GSH，100 mL 30 mmol/L 1-氯-2，4-二硝基苯(CDNB)和 0.2 mL 酶液混匀后，在 25℃下 340 nm 波长下读取 1 分钟吸光值变化值，对照为 PBS。

1.5.5　蛋白含量测定：参照 Bradford(1976)的方法，取 0.1 mL 酶液与 5 mL 考马斯亮蓝 G250 混匀，测定各酶液中可溶性蛋白含量，以牛血清蛋白制作标准曲线。

1.6　数据统计分析

所有试验数据的统计和差异显著性分析均采用国际通用软件 SPSS11.5，数据的相关性分析采用 Microsoft Excel 2003 软件。

2　结果与分析

2.1　不同小麦品种(系)的抗蚜性差异

通过在苗期同一环境和网罩条件下，对 15 个不同抗性小麦品种(系)的有翅成蚜自由选择寄主的测定(表 1)，可以看出：麦长管蚜在不同抗性品种(系)上都能定殖，其定殖蚜量存在一定差异，但大多供试品种(系)上的定殖蚜量波动较大；只有 885479-2 和红芒红 2 个品种(系)上的定殖蚜量明显高于其他品种(系)的定殖蚜量，而其他品种(系)间平均定殖蚜量虽然存在一定差异，但仅有个别达到显著水平($P < 0.05$)。

衡量寄主抗生性的产蚜量测定结果(表 1)显示，不同抗性品种(系)之间平均产蚜量存在显著差异。其中，在 885479-2 上平均单雌产蚜量最高(13.27 头)、红芒红上次之，表明其感蚜性较强；而在中 4 无芒和冀保一号上单雌产蚜量很少，分别为 2.53 头和 3.87 头，表明其抗蚜性较强；且 2 个类型之间存在极显著差异($P < 0.01$)。其余品种(系)属中间抗性类型，但也存在一定的抗、感性差异($P < 0.05$)。本研究结果与田间自然蚜量为参数鉴定的抗性级别相比，其中较一致的有中 4 无芒、Li、885479-2 和 JP① 等，而差异较大的有 KOK、铭贤 169、临选 2035 和红芒红等。

表 1　不同小麦品种的不选择性和抗生性比较

Table 1　Contrast of antixenosis and antibiosis among different wheat vareities

小麦品种(系) Wheat varieties	蚜量 Number of aphids	
	不选择性 Antixenosis	抗生性 Antibiosis
中 4 无芒 Zhong 4 wumang	14.67 ± 5.48 bc	2.53 ± 0.69 f
冀保一号 Jibao No.1	8.67 ± 2.91 c	3.87 ± 0.13 ef
临选 2039 Linxuan 2039	11.67 ± 4.05 c	4.77 ± 1.42 def
小白冬麦 Xiaobaidongmai	16.67 ± 2.73 abc	5.77 ± 0.69 cdef
JP①	9.00 ± 2.08 c	6.00 ± 1.00 bcdef
鲁 955159 Lu955159	8.67 ± 3.84 c	6.50 ± 0.92 bcdef
Li	11.67 ± 1.76 c	6.53 ± 1.56 bcdef
冀 5099 Ji5099	11.33 ± 6.01 c	6.77 ± 0.87 bcde
铭贤 169 Mingxian169	10.33 ± 2.40 c	7.00 ± 0.64 bcde
郑州 831 Zhengzhou831	7.33 ± 0.88 c	7.27 ± 0.98 bcde
晋麦 31 号 Jinmai No.31	15.00 ± 7.00 bc	7.27 ± 0.73 bcde
KOK	11.33 ± 0.67 c	8.20 ± 2.33 bcd
临选 2035 Linxuan 2035	11.33 ± 2.03 c	9.37 ± 2.28 bc
红芒红 Honghmanghong	27.00 ± 6.11 ab	10.17 ± 1.32 ab
885479-2	29.00 ± 8.08 a	13.27 ± 0.90 a

注 Notes：表中数据为平均值 ± 标准误；同一列数据后的相同字母表示两者之间没有显著差异($P > 0.05$)；下同。The data in the table are mean ± *SE*. The data followed the same letter in a column are not different at $P > 0.05$. The same below.

在 5 种不同的小麦品种(系)上,发现小麦品种(系)不同,对麦长管蚜若蚜存活率基本没有影响(未发现若蚜死亡现象),对生殖历期(成蚜寿命)的影响不大(表 2),虽表现出随抗性增强其生殖历期缩短的趋势,但未达到显著差异；对若蚜的生长发育历期有一定影响,其中在中 4 无芒品种上的若蚜历期最长,在 885479-2 品系上若蚜历期最短,两者间存在显著差异($P < 0.05$)。抗生性观测结果说明,不同小麦品种(系)对麦长管蚜产蚜量(生殖力)的影响最为突出,是小麦品种抗麦长管蚜的最重要特性之一。

表 2　小麦不同品种(系)上麦长管蚜的发育历期和生殖历期

Table 2　Developmental duration and period of reproduction of aphid on different wheat varieties

小麦品种(系) Wheat varieties	若蚜发育历期(d) Developmental duration of nymphs	成蚜生殖历期(d) Period of reproduction of aphids
中 4 无芒 Zhong 4 wumang	10.46 ± 1.53 a	10.13 ± 2.21 a
冀保一号 Jibao No.1	8.49 ± 0.25 b	11.75 ± 1.83 a
JP①	8.37 ± 0.36 b	12.36 ± 4.51 a
红芒红 Hongmanghong	8.29 ± 0.44 bc	12.91 ± 2.75 a
885479-2	7.78 ± 0.19 c	12.72 ± 1.96 a

2.2　苗期和扬花期不同抗性小麦品种对麦长管蚜产蚜量的影响

根据 15 个品种(系)对麦长管蚜抗生性测定结果,选择抗蚜性表现不同的中 4 无芒、冀保一号、JP①、红芒红和 885479-2 作为扬花期抗生性试验材料,观测了这 5 个品种(系)在扬花期麦长管蚜的繁殖情况。小麦两个生长阶段的单雌产仔量相对值比较如图 1 所示,可以看出:不同小麦品种(系)在苗期和扬花期对麦长管蚜产蚜量(生殖力)的影响作用是相同的,虽然在同一品种(系)上扬花期的产蚜量显著高于苗期的产蚜量,但 5 个品种(系)在两生育期间的抗蚜性趋势完全一致。经统计分析得知 5 个品种(系)苗期和扬花期麦长管蚜产蚜量呈显著正相关($r = 0.956^*$)。

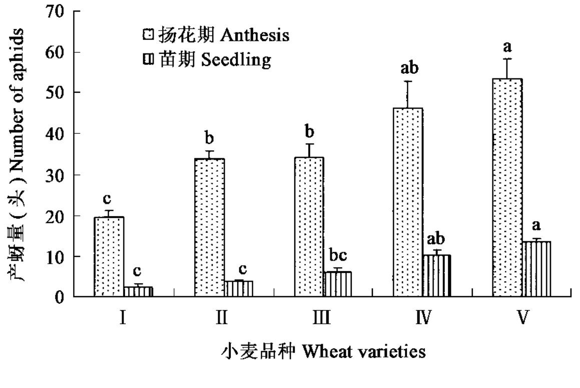

图 1　麦长管蚜在不同小麦品种(系)苗期和扬花期产蚜量的比较

Fig. 1　The number of aphids on different wheat varieties in anthesis and seeding

Ⅰ:中 4 无芒 Zhong 4 wumang；Ⅱ:冀保一号 Jibao No.1；Ⅲ:JP①；Ⅳ:红芒红 Hongmanghong；Ⅴ:885479-2.

2.3　小麦不同品种旗叶和穗部的单宁(酸)及槲皮素含量的比较

表 3 显示,各品种(系)的单宁含量在旗叶和穗部中有一定差异:旗叶中单宁含量较高,穗部中单宁含量仅占旗叶的 49.77% ~ 74.34%；在感蚜品种 885479-2 的旗叶和穗部中单宁含量均为最高；感蚜品种'红芒红'单宁含量在旗叶中最低,并且显著低于抗蚜品种中 4 无芒和冀保一号；在穗部中含量却高于中 4 无芒和冀保一号。

槲皮素含量相对于单宁在各品种(系)旗叶和穗部中变化较小,不同小麦品种(系)中槲皮素含量具有显著差异(表 3):旗叶中抗蚜品种冀保一号和中 4 无芒的槲皮素含量较高,感蚜品种红芒红和 885479-2 含量较低,两类之间差异显著；在穗部,中 4 无芒槲皮素含量最高,而红芒红和 885479-2 穗部槲皮素含量几乎检测不到；JP①中的槲皮素含量基本处于两类中间。统计分析显示,不同品种(系)中槲皮素含量与抗蚜程度有显著相关,其中穗部槲皮素含量与产蚜量呈显著负相关($r = -0.941^*$)。

2.4　不同品种小麦对麦长管蚜羧酸酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

麦长管蚜在不同品种(系)小麦上取食饲养 5 天后,测定不同品种之间试虫体内羧酸酯酶(CarE)活性,结果表明不同抗性、相同抗性品种(系)之间存在显著差异(表 4):取食感蚜品种 885479-2 的麦长管蚜的 CarE 活性最高,取食感蚜品种红芒红的 CarE 较低,两者之间存在显著差异；取食抗蚜品种冀保一号、中 4 无芒的 CarE 酶活性显著低于前两者；取食 JP①的与感蚜品种红芒红的 CarE 酶活性相当。

谷胱甘肽 S-转移酶(GST)测定结果(表 4)显示,取食抗蚜品种冀保一号的麦长管蚜 GST 活性显著高于其他 4 个品种(系)上麦长管蚜的 GST 活性,而这 4 个品种(系)间麦长管蚜的 GST 酶活性没有显著差异。

3　讨论

试验虫量或虫量参数的准确性是抗虫性鉴定和

表 3　小麦不同品种(系)旗叶和穗部的单宁和槲皮素含量比较

Table 3　Tannin and quercetin contents of wheat varieties in flag leaf and ear

小麦品种(系) Wheat varieties	单宁含量 Tannin content(mg/g，干重 DW)		槲皮素含量 Quercetin content(mg/g，干重 DW)	
	旗叶 Flag leaf	穗部 Ear	旗叶 Flag leaf	穗部 Ear
中 4 无芒 Zhong 4 wumang	23.0067 ± 0.0933 b	12.1900 ± 0.1617 c	0.1861 ± 0.0006 b	0.1993 ± 0.0069 a
冀保一号 Jibao No.1	23.7533 ± 0.3365 b	11.8167 ± 0.2469 c	0.2356 ± 0.0011 a	0.1705 ± 0.0015 b
JP①	24.1267 ± 0.5197 b	16.5767 ± 0.0933 b	0.1664 ± 0.0038 c	0.1373 ± 0.0004 c
红芒红 Hongmanghong	21.7000 ± 0.1617 c	15.8300 ± 0.1617 b	0.1731 ± 0.0079 c	—
885479-2	25.4267 ± 0.6087 a	18.9033 ± 0.5567 a	0.1502 ± 0.0004 d	—

表 4　不同小麦品种对麦长管蚜羧酸酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶活力的影响

Table 4　Influence of wheat varieties on CarE and GST activity of aphids

小麦品种(系) Wheat varieties	羧酸酯酶比活力 CarE activity ($OD \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$)	谷胱甘肽 S-转移酶比活力 GST activity ($OD \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$)
中 4 无芒 Zhong 4 wumang	1.555 ± 0.1715 c	0.502 ± 0.0186 b
冀保一号 Jibao No.1	1.898 ± 0.1309 c	0.780 ± 0.0200 a
JP①	2.900 ± 0.0675 b	0.532 ± 0.0443 b
红芒红 Hongmanghong	2.937 ± 0.0892 b	0.625 ± 0.0558 b
885479-2	4.119 ± 0.0728 a	0.559 ± 0.0307 b

相应研究的基础。传统的抗蚜性鉴定或评价研究，大多采用以小麦品种(或材料)上的自然数量或以“田间蚜量”为基础的鉴定方法。由于麦蚜在小麦植株和麦田的分布存在着空间与时间的异质性，且常受到天敌、不同天气和环境等影响，因而难以获得精确的蚜量或相关参数，直接影响了测定结果的准确性，导致不同年度间的鉴定结果差异和抗性不稳定的问题。本研究采用网罩试虫的观测方法，解决了麦长管蚜试验蚜量(虫量参数)精度难以控制的首要问题。在抗生性实验中，采取先将成蚜接在不同抗性品种(系)上，再将产下的若蚜(保留在原处)作为观测的起始虫源的方法，既避免转接若蚜时人为造成的伤害，又保证了不同抗性品种(系)对麦长管蚜生命参数影响的真实性。

植物的抗虫性一般分为不选择性(或称排拒性)、抗生性和耐害性等类型。朱麟和古德祥(1999)认为植物的耐害性不是真正的抗性，它只是植物生长特性所表现出来的最终结果；耐害性植物可以补偿昆虫危害所造成的损失，与感性品种相比似乎具有同等的刺激昆虫种群增长的作用，这与抗性标准相违背。因此，本研究从不选择性和抗生性入手，观测比较了 15 个不同抗性品种(系)在苗期和其中 5 个代表性品种(系)在扬花期对麦长管蚜的抗性情况。结果显示，不同抗性品种(系)对产蚜量(生殖力)的影响最为突出，且苗期和扬花期抗性趋势相吻合，是小麦品种对麦长管蚜抗生性的重要体现。与不选择性相比，作为抗生性指标的产蚜量更符合实际，能明显区分不同品种(系)抗、感性差异。可利用产蚜量这一抗性参数，以本研究中两个抗生性强的及两个感蚜性强的品种(系)为参照，作为判断抗性强弱的依据在小麦抗麦长管蚜鉴定或抗蚜育种中应用。另外，可以根据上述苗期与扬花期抗性趋势相吻合的结果，在苗期进行初筛，扬花期再重点验证。

已有的研究表明，小麦对麦长管蚜的抗性与一些次生物质相关(蔡青年等，2003)。陈巨莲等(2002)用人工饲料加不同浓度次生物质的薄膜饲养技术，研究了 8 种次生物质对麦长管蚜及禾谷缢管蚜生长、发育及若蚜增重等生命参数的影响等作用，结果表明，除芸香苷外其余几种次生物质(包括单宁、槲皮素等)具有不同程度的抗蚜性，并通过统计分析得到不同次生物质的抗蚜阈值。我们的研究结果显示，单宁含量在相同和不同抗性品种(系)间均存在显著差异，而不同抗性品种(系)穗部中槲皮素含量与各品种(系)上的产蚜量呈显著负相关($r = -0.941^{*}$)，即与小麦抗蚜程度呈正相关；抗生性强的中 4 无芒和冀保一号在扬花期的旗叶、穗部中槲皮素含量均显著高于感蚜品种红芒红和 885479-2。本研究结果不仅回答了陈巨莲等(2002)关于槲皮素在小麦植株中是否存在的问题，而且也进一步证实槲皮素是一种抗麦长管蚜的重要次生物质。

植物次生物质常导致害虫水解酶和其他解毒酶活性降低(罗万春和慕卫，1998)，这可能是植物次生物质抗虫性原因之一。陈巨莲等(2003)借助麦蚜人工饲料，采用昆虫酶系体外抑制法研究表明，单宁酸和总酚显著抑制麦长管蚜羧酸酯酶(CarE)和谷胱甘肽 S-转移酶(GST)的活力，而香豆素仅显著地抑制 GST 酶活力。也有研究表明，在高抗小麦品种上饲养多代可诱导麦长管蚜多功能氧化酶(Raúl *et al*.，2000)，麦长管蚜和禾谷缢管蚜的 GST 酶活力提高(Leszczynski *et al*.，1994)。在本研究结果中，取食抗蚜品种冀保一号、中 4 无芒的麦长管蚜的 CarE 活性

显著低于取食两个感蚜品种的 CarE 活性；而 GST 活性变化与 CarE 不同，取食抗蚜品种冀保一号的麦长管蚜 GST 活性显著高于取食另一个抗蚜品种和两个感蚜品种(系)上麦长管蚜的 GST 活性。造成不同研究结果差异的原因有二：一方面，所测定的次生代谢产物是否是所测定的酶系的直接作用底物；另一方面也可能与寄主小麦体内的次生物质、其他有关酶或小麦体内相关酶抑制剂种类及含量等方面差异有关。由此可见，有关小麦品种抗蚜性与重要次生物质以及麦长管蚜解毒酶活性之间的关系等尚需开展深入系统的研究，才能全面了解小麦品种抗麦长管蚜的机制。

致谢 本研究所用槲皮素标准样品由张永军博士提供，特此致谢！

参 考 文 献 (References)

Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dry binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248 – 254.

Cai QN, Wang Y, Zhang QW, Zhou MZ, 2004. Dynamics of indole alkaloids in wheat varieties with various resistances to wheat aphid *Sitobion avenae*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(3): 537 – 539. [蔡青年，王宇，张青文，周明牂，2004. 小麦不同抗蚜品种(系)中吲哚生物碱的含量变化. 应用生态学报，15(3): 537 – 539]

Cai QN, Zhang QW, Gao XW, Wang Y, Zhou MZ, 2003. Effects of the secondary substances on wheat resistance to *Sitobion abenae*. *Scientia Agricultura Sinica*, 36(8): 910 – 915. [蔡青年，张青文，高希武，王宇，周明牂，2003. 小麦体内次生物质对麦蚜的抗性作用研究. 中国农业科学，36(8): 910 – 915]

Chen JL, Ni HX, Sun JR, 2002. The resistance threshold and interactions of several plant secondary metabolites to wheat aphids. *Acta Phytophylacica Sinica*, 29(1): 7 – 12. [陈巨莲，倪汉祥，孙京瑞，2002. 主要次生物质对麦蚜的抗性阈值及交互作用. 植物保护学报，29(1): 7 – 12]

Chen JL, Ni HX, Sun JR, Cheng DF, 2003. Effects of major secondary chemicals of wheat plants on enzyme activity in *Sitobion avenae*. *Acta Entomol. Sin.*, 46(2): 144 – 149. [陈巨莲，倪汉祥，孙京瑞，程登发，2003. 小麦几种主要次生物质对麦长管蚜几种酶活力的影响. 昆虫学报，46(2): 144 – 149]

Copaja SV, Nicol D, Wratten SD, 1999. Accumulation of hydroxamic acids during wheat germination. *Phytochemistry*, 50(1): 17 – 24.

Du LF, Zhao HY, Yuan F, Sun Q, Zhang GS, Yao JX, Li Yan, Liu HW, Wang JW, 1999. Resistance to aphid determining and screening in wheat species (lines) or sources. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 19(6): 68 – 73. [杜利锋，赵惠燕，袁锋，孙群，张改生，姚建秀，李燕，刘宏伟，王军卫，1999. 小麦抗蚜品种(系)或材料的抗性遗传测定及筛选. 西北植物学报，19(6): 68 – 73]

Habig WH, Jakoby WB, 1981. Assays for differentiation of glutathione S-transferases. *Methods Enzymol.*, 77: 398 – 405.

Hedin TA, Waage SK, 1986. Role of flavonoids in plant resistance to insects. In: Cody V, Middleton E, Harborne JB eds. Plant Flavoids in Biology and Medicine Biochemical Pharmacological and Structure Activity Relationship. New York: Alan Liss. 87 – 100.

Hunter MD, Schultz JC, 1995. Fertilization mitigates chemical induction and herbivore responses within damaged oak trees. *Ecology*, 76(4): 1 226 – 1 232.

Leszczynski B, Matok M, Dixon AFG, 1994. Detoxification of cereals plant allelochemicals by aphids: activity and molecular weights of glutathione S-transferase in three species of cereal aphids. *J. Chem. Ecol.*, 20(2): 387 – 394.

Li SJ, Zhang ZY, Wang XY, Ding HJ, Ni HX, Sun JR, Cheng DF, Chen JL, 1998. Identifying wheat species (lines) by fuzzy recognition method. *Plant Protection*, 24(5): 15 – 16. [李素娟，张志勇，王兴运，丁红建，倪汉祥，孙京瑞，程登发，陈巨莲，1998. 用模糊识别技术鉴定小麦品种(系). 植物保护，24(5): 15 – 16]

Liu BC, Chen JL, Ni HX, Sun JR, Wu YQ, 2003. Effects of secondary flavonoids in wheat on the growth and development of *Sitobion avenae*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 30(1): 8 – 12. [刘保川，陈巨莲，倪汉祥，孙京瑞，武予清，2003. 小麦中黄酮类化合物对麦长管蚜生长发育的影响. 植物保护学报，30(1): 8 – 12]

Luo WC, Mu W, 1998. The effects of activity of two esterases on insect after treater with cytosine and aloperine. *Journal of Shandong Agricultural University*, 29(1): 1 – 7. [罗万春，慕卫，1998. 金雀花碱等对小菜蛾幼虫体内羧酸酯酶等水解酶活性的影响. 山东农业大学学报，29(1): 1 – 7]

Qu HX, Dang JY, Cheng MF, Xie XS, 2004. Resistance identification of wheat germplasm resources to *Macrosiphum avenae*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 19(4): 102 – 104. [屈会选，党建友，程麦风，谢咸升，2004. 小麦种质资源对麦长管蚜抗性的鉴定. 华北农学报，19(4): 102 – 104]

Raúl LM, Figueroa CC, Niemeyer HM, 2000. Effect of wheat cultivars differing in hydroxamic acid concentration on detoxification metabolism in the aphids *Sitobion avenae*. *J. Chem. Ecol.*, 26(12): 2 725 – 2 736.

Shi ZL, Zheng WY, Yin QY, Ma AP, Xu GY, 1999. A study on field selecting technique of wheat varieties for resistance to wheat aphid. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 14(1): 98 – 101. [史忠良，郑王义，尹青云，马爱萍，许钢垣，1999. 冬小麦抗蚜品种田间筛选技术研究. 华北农学报，14(1): 98 – 101]

van Asperen K, 1962. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method. *J. Insect Physiol.*, 8(4): 401 – 416.

Wu JX, Jiang JH, Shen BC, Su XJ, 1999. Effects of wheat varieties on main life parameters of wheat aphids. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10(4): 447 – 451. [仵均祥，姜金虎，沈宝成，苏小记，1999. 小麦品种对麦蚜主要生命参数影响的研究. 应用生态学报，10(4): 447 – 451]

Zhu L, Gu DX, 1999. The developing implications of plant resistance to insect pests. *Entomological Knowledge*, 36(6): 355 – 360. [朱麟，古德祥，1999. 植物抗虫性概念的当代内涵. 昆虫知识，36(6): 355 – 360]

(责任编辑：黄玲巧)